Hirosaki University Repository for Academic Resources

Title	マイクロコンピューターによるオペラント実験制御システム
Author(s)	平岡，恭一
Citation	弘前大学教育学部紀要．53，1985，p.97-101
Issue Date	1985-03-19
URL	http://hdl.handle.net/10129/618
Rights	
Text version	publisher

http://repository.ul.hirosaki-u.ac.jp/dspace/

弘前大学教育学部紀要　第53号：97～101（1985年3月）
Bull. Fac. Educ. Hirosaki Univ. 53：97～101（*Mar.* 1985）

マイクロコンピュータによるオペラント実験制御システム

A Microcomputer-Based System for the Control of Operant Experiments

平　岡　恭　一*
Kyoichi Hiraoka

（1984．12．20 受理）

論　文　要　旨

オペラント条件づけをはじめとする動物行動実験を制御するための，マイクロコンピュータシステムを作製したので報告する。本システムは，いわゆるパーソナルコンピュータと既製の入出力インターフェースボードを用いており，ハードウェアの構成が簡単である。また，プログラム開発ソフトウェアを使用し，機械語でのプログラミングを容易にした。小規模な実験であれば，複数台の装置の制御も可能である。

近年の電子工学技術の著しい発展は，マイクロコンピュータ（以下マイコンと略す）を入手し易いものにした。心理学の実験にマイコンを利用する動きは，ますますさかんである（例えば，Bird, 1981；中邑・富永・利島，1982)。

心理学の実験にマイコンを利用することの利点は次のようなものであろう。

1．実験の精密性や信頼性が向上する。

2．実験手続等の変更が，プログラムを書き変えることで容易にできる。

3．実験制御とデータ記録を1台の機械で行うことができる。

このことは，動物行動研究においても例外ではない。むしろ，この領域は，最も早くマイコンが導入された領域のひとつであり，実験制御の自動化や，データ処理などを目的としたマイコンシステムが数多く報告されている（石井，1979；Greenshaw, Blackman & Thomas, 1981；O'dell, 1981；山本，1982)。

マイコンによる制御に最も適した実験装置は，いわゆるスキナー箱をはじめとするオペラント条件づけ装置であろう。この種の装置は，多くが，28（ないし24）Vdc の電源で動作するように作られている。各種刺激や餌出し器，それに電撃発生装置等の制御は，28Vを電源とする回路の開閉によってなされる。また，レバー押し反応等のデータは接点開閉の形で与えられる。マイコン本体は，通常，このような装置を直接には制御できないので，両者の間に，入出力インターフェースが必要となる。

これまで報告された，ワンボードマイコンをはじめとするコンピュータ制御システムは，入出力インターフェースを自作するものが多かった。しかし，周辺機器の自作というのは，ＩＣ等に関する知識や，"バタヤ精神"（苧阪，1970）をかなり持ち合わせない限り，意外に敷居が高いようである。註)

また，機械語でプログラムする場合，ハンドアセンブルでは能率が悪いので，開発を助けるソフトウェア（アセンブラ等）が必要となる。このようなソフトウェアは，ワンボードマイコンではなく，フルキーボードと CRT ディスプレイを備えた，BASIC マシンで働くように作られたものが殆どである。

ここに報告するのは，いわゆるパーソナルコンピュータを用いたオペラント実験制御システムで，以下の条

註）ＩＣ回路は，他の素子を用いたものより製作が簡単であるといわれるが，筆者自身，いざハンダごてを持ち，回路図に向かうことを考えると，きれいに作ろうとか，自作のものの信頼性はどうか，などと考えすぎてしまい，手が出せないことがかなりあった。

* 弘前大学教育学部心理学科教室　Department of Psychology, Faculty of Education, Hirosaki Uuiversity

件が考慮されているものである。

1. ハードウェアが容易に構成できること。
2. 機械語プログラム開発ソフトウェアが使え，システムが独立していること。
3. 以上2条件を満たした上で，できるだけ安価であること。

ハードウェア

システム構成

マイコン本体は，日本電気製 PC—8001mkⅡ（以下マークⅡと略す）である。この機種は，ソフトのみならずハードウェアについても，多くの周辺機器が開発されており，入出力インターフェースも数種入手できる。さらに拡張用バスが2スロット装備されており，多数の装置の制御が可能なこと，また割込みのプログラミングが比較的容易なこと等，実験制御に適した特徴を持つ。本体に加え，グリーンディスプレイ，データレコーダ，プリンタ，及び入出力インターフェースにより，システムを構成した。実験装置はラット用スキナー箱である。

リアルタイム割込み

動物実験を行うには，時間の計測が不可欠といってもよい。ディスクリート試行実験では試行間間隔，自由反応実験ではＦＩ，ＶＩスケジュール等に用いられる。

本システムでは，リアルタイム割込みによって時間を計測している。割込みとは，大体次のような働きである。ＣＰＵに外部から割込みを要求する信号が入ると，ＣＰＵはそれまでしていた仕事（メインプログラム）を一時中止し，予め指定された番地へ飛ぶ。そこには，メインプログラムとは別のプログラムを書いておき，その処理を終えると，割込み時に処理していたメインプログラムの番地に戻るのである。

リアルタイム割込みにおいては，割込み要求信号が一定時間間隔（マークⅡの場合600分の1秒）で自動的に入るようになっている。従って割込み処理でその回数を数えれば，時間が測れることになる。この方法により，時間の計測をしながら，反応データの入力やその保存を並行して行うことができ，また複数台の装置の制御も可能になる。マークⅡの取扱説明書には割込みに関する記述が殆どないが，この機種の割込み関係の部分は，ＰＣ—8001用の拡張ユニットＰＣ—8011及びＰＣ—8012と同様の使い方ができる。プログラミングについては，これらの解説書に詳しい。

入出力インターフェース

多くのマイコンは，外部に開放された拡張用バスを持っており，これに様々な外部機器を接続することができる。拡張バスを通してデータを出力する場合，電圧は5Ｖであるが，電流が非常に小さいため，通常，直接にはリレー等を駆動させることができない。そこでトランジスタ等により，電流を増幅してやる必要がある。また，外部で非常に大きな電流が流れた場合など，本体に悪影響を及ぼす危険性があるため，本体と外部装置との間にフォトカプラ等を入れて，電気的に遮断しておくのが望ましい。これらの必要性を満たすインターフェースとして，本システムでは，吉喜工業製 Bull Ｉ/Ｏ＃1を用いた。これは入力16点，出力16点を持つパラレル入出力インターフェースボードで，出力としてリレー又は電圧（35Ｖ），入力として接点又は5Ｖ電圧が使用でき，入出力ともに，フォト・アイソレートされている。電源は＋5Ｖのみで，マイコン本体から供給しているが，現在のところ，容量不足による誤動作等はない。

このボードの大きな特徴は，1バイト（8ビット）によってひとつの機器を制御している点であろう。一般に発表されているインターフェースは，マイコンが外部装置との間でやりとりする1バイトのデータの各ビットに，機器を1個ずつ割り合てているものが殆どである。この方法では，どの機器を動かすか，また，どの機器から入力があったかによって，転送されるデータの値が異なるので，特に多数の機器を制御する場合には，プログラミングが非常に繁雑になる。

この点，今回用いたものは，機器を区別するのは個々のビットではなく，データを転送するＩ/Ｏ（入出力）番地である。転送されるデータそのものは，どの番地についても，ONが16進数の1，OFFが0と常に同じなので，プログラミングが簡潔となり，ミスも少ないようである。

ソフトウェア

使用言語は，処理速度を考慮し，機械語とした。プログラム開発用ソフトウェアとして，"PROT"（アスキー，テープ版）を使用している。これはＰＣ—8001（mkⅡ）用につくられており，小規模，安価ながら，エディタ，アセンブラ，デバッガ等，必要最低限の機能を持っている。実験制御プログラムは，基本的にはタイマ用メモリの参照や反応入力データの読み込みと，それらの条件判断でループを構成し，所定の条件を満たす場合に実験装置への出力や実験データの保存を行うという形にした。次に，主要なプログラムルーチンについていくつか述べる。

リアルタイム割込み

マークⅡのリアルタイム割込みは，リセット（又は電源投入）時に禁止されるので，この機能を使うためには，Fig. 1A のようなプログラムを書かねばならない。再び禁止するには Fig. 1B のようにする。

```
                    ;
                    ; -- A --
                    ;
                    ;
D861 3E01                LD    A,01H          ; TIMER INT.
D863 D3E6                OUT   (0E6H),A       ; ENABLE
                    ;
                    ;
                    ;
                    ; -- B --
                    ;
                    ;
D865 3E00                LD    A,00H          ; TIMER INT.
D867 D3E6                OUT   (0E6H),A       ; DISENABLE
```

Fig. 1.　リアルタイム割込み許可及び禁止プログラム

割り込み処理の1例を Fig. 2 に示す。ここでは，まず1/600秒タイマとして使っているメモリの値を1増やし，さらにその値が6になっていれば，他の2つのメモリに1を加える。つまりこれらのメモリは1/100秒タイマになっており，実験にはこれを使っている。プログラム中，破線で囲んだ部分は，割込み時

```
                    ;
                    ;  --- INTERRUPT ROUTINE ---
                    ;
0000                     ORG   0D600H
                    ;
D600 F3                  DI
D601 F5                  PUSH  AF             ; REGISTER
D602 C5                  PUSH  BC             ; SAVE
D603 D5                  PUSH  DE
D604 E5                  PUSH  HL
D605 3A55EA              LD    A,(0EA55H)     ; INT. LEVEL
D608 F5                  PUSH  AF             ; SAVE
D609 3E02                LD    A,02H
D60B D3E4                OUT   (0E4H),A
                    ;
D60D 3AFFDC              LD    A,(0DCFFH)
D610 3C                  INC   A
D611 32FFDC              LD    (0DCFFH),A
D614 FE06                CP    06H            ; 1/600 SEC
D616 C22CD6              JP    NZ, PASS       ; TIMER = 6?
D619 3E00                LD    A,00H
D61B 32FFDC              LD    (0DCFFH),A
                    ;
D61E 2A00DD              LD    HL,(0DD00H)    ; 1/100 SEC
D621 23                  INC   HL             ; TIMER +1
D622 2200DD              LD    (0DD00H),HL
D625 2A02DD              LD    HL,(0DD02H)
D628 23                  INC   HL
D629 2202DD              LD    (0DD02H),HL
                    ;
D62C F1             PASS:PUP   AF
D62D D3E4                OUT   (0E4H),A
D62F E1                  POP   HL             ; REGISTER
D630 D1                  POP   DE             ; RESTORE
D631 C1                  POP   BC
D632 F1                  POP   AF
D633 FB                  EI
D634 C9                  RET
```

Fig. 2.　リアルタイム割込み処理ルーチン

の処理がどのようなものであっても，必ず書く。割込み発生時に，このルーチンへ処理を移すためには，ジャンプテーブル（8004番地）にその先頭番地（ここではD600）を書いておく必要がある。アセンブリ言語によるテキストプログラム上では，この番地指定は割込みルーチンより後になければならない。逆だとアセンブル途中で割込みがかかった時に暴走して，それ以後アセンブルできなくなるので注意を要する。

入出力ルーチン

装置からの入力は，レバー押し反応による接点入力のみである。プログラム例をFig. 3に示す。まずI/Oの8F番地（レバーを接続した入力端子に対応している）のデータを読み込み，レバーが押されていれば（データが1であれば）次へ進み，いなければ（0であれば）そのデータを記憶して再び読み込みをしている。以下の行では，前回読み込んだデータが0であって今回は1であった時にのみ，反応数記録用メモリの内容に1を加え，前回のデータが1であった時には何もせずに再び読み込みをする。この方法により，どのような長さの反応でも1回と計数される。

```
                    ;
D8B0 DB8F   INPUT:  IN    A,(8FH)     ; RESPONSE
D8B2 FE00           CP    00H          ; INPUT
D8B4 CACED8         JP    Z, NORESP
D8B7 3ADDDF         LD    A,(0DFDDH)
D8BA FE00           CP    00H
D8BC C2B0D8         JP    NZ, INPUT
D8BF 2A00DF         LD    HL,(0DF00H)
D8C2 23             INC   HL
D8C3 2200DF         LD    (0DF00H),HL
D8C6 3E01           LD    A,01H
D8C8 32DDDF         LD    (0DFDDH),A
D8CB C3B0D8         JP    INPUT
                    ;
D8CE 32DDDF NORESP: LD    (0DFDDH),A
D8D1 C3B0D8         JP    INPUT
```

Fig. 3. 反応入力プログラム

実験装置内の各機器を動かすには，対応するI/O番地へ16進数の1（リレーON）か0（同OFF）を出力すればよい。Fig. 4がその1例である。

```
                    ;
D896 3E00           LD    A,00H         ; LEVER EX-
D898 D391           OUT   (91H),A       ; TEND OFF
                    ;
                    ;
D89A 3E01           LD    A,01H         ; LIGHT ON
D89C D393           OUT   (93H),A
                    ;
```

Fig. 4. 出力プログラム

内部サブルーチンの利用

プログラミング，特に実験者との対話の部分においては，BASICインタプリタの内部サブルーチンが役

```
                    ;
D73D CD5A04         CALL  045AH       ; DAY INPUT
D740 3E44           LD    A,"D"
D742 CD5702         CALL  0257H
D745 3E61           LD    A,"a"
D747 CD5702         CALL  0257H
D74A 3E79           LD    A,"y"
D74C CD5702         CALL  0257H
D74F CDD45F         CALL  5FD4H
D752 CDD45F         CALL  5FD4H
D755 CD750F         CALL  0F75H
D758 3206DD         LD    (0DD06H),A
D75B CD5702         CALL  0257H
```

Fig. 5. 内部サブルーチン利用の一例

に立つ。例えば，パラメータ入力時のキースキャン，ディスプレイへの表示，16進及び10進データの相互変換，実験結果のプリンタ出力などが，内部サブルーチンによって機械語レベルで容易にできる。Fig. 5 に示す例は，ディスプレイに "Day" を表示し，キー入力があるまでスキャンし続け，入力があればそれをメモリに格納するとともにディスプレイに表示するプログラムである。マークⅡの説明書は内部サブルーチンに関してあまり詳しくないが，最近この種の解析書が出ている（川村，1983）。

ま と め

ハードウェアが容易に構成できるという条件は，いわゆるパーソナルコンピュータと既製のインターフェースを用いたことにより，ほぼ満足されたといえよう。実際，ハンダづけをしたのは，インターフェースと実験装置を結ぶケーブルの端子ぐらいのものであった。費用もそれほどかからない。問題は，使用言語が機械語であるため，開発ソフトを用いてもプログラミングに時間がかかり，プログラムが長くなるとわかりにくくなることである。この点で多少使いづらさは残るが，本システムは，小規模の各種実験に適用できるようである。実験条件にもよるが，2～3台の装置の同時制御も可能であろう。

参考文献

Bird, R. J. *The computer in Experimental psychology*. Academic Press. 1981.

Greenshaw, A. J., Blackman, D. E., & Thomas, G. V. Microcomputers in operant conditioning laboratories : Some general comments. *Behaviour Analysis Letters*, 1981, **1**, 237–240.

石井　厳　動物・生理実験のための東大大型計算機センターとのオンラインＴＳＳマイクロコンピュータ－・システム　立教大学心理学科研究年報，1979, **21・22**, 34–41.

川村　清　PC–8001mkⅡ解析マニュアルⅠ　秀和システムトレーディング　1983.

中邑賢龍・富永大介・利島　保　マイクロコンピュータを用いた心理学実験制御及び反応計測のシステム化　心理学研究，1982, **53**, 244–248.

O'Dell, J. W. The MicroAce : An inexpensive computer controller. *Behavior Research Methods & Instruction*. 1981, **13**, 682–685.

苧阪良二　Psycho-instrumentation の展望　心理学評論，1970, **13**, 171–193.

山本　豊　実験制御用廉価マイコンシステム　サイコロジー，1982, No.32, 74–78.